

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-288191

(43) 公開日 平成7年(1995)10月31日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

庁内整理番号

F 1

技術表示箇所

H 0 5 H 1/46

B 9014-2G

C 2 3 C 14/12

8414-4K

16/50

C 2 3 F 4/00

D 8417-4K

H 0 1 L 21/ 302

B

審査請求 有 発明の数 2 O L (全 8 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平6-300525

(62) 分割の表示 特願昭58-194311の分割

(22) 出願日 昭和58年(1983)10月19日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 大坪 徹

神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地株式

会社日立製作所生産技術研究所内

(72) 発明者 相内 進

神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地株式

会社日立製作所生産技術研究所内

(72) 発明者 上村 隆

神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地株式

会社日立製作所生産技術研究所内

(74) 代理人 弁理士 小川 勝男

最終頁に続く

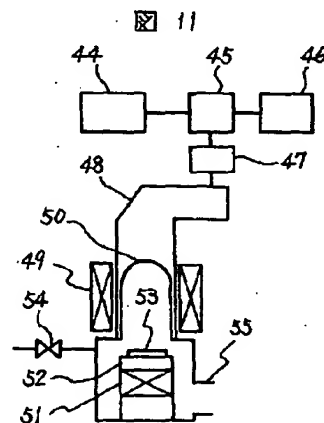
(54) 【発明の名称】 プラズマ処理方法およびその装置

(57) 【要約】 (修正有)

【目的】 成膜速度と膜質やエッチングレート、選択比とエッチング精度など相反するプラズマ処理特性を共に向上させるプラズマ処理方法およびその装置を供給する。

【構成】 プラズマ処理室50内に処理用ガスを導入するガス導入手段54と、マイクロ波電源部44と磁場発生部49、51とを有しマイクロ波電源部から磁場発生部により磁界を形成したプラズマ処理装置内にマイクロ波電力を供給することによりプラズマ処理装置内に磁界とマイクロ波電力との相互作用によりプラズマを発生させるプラズマ発生手段と、マイクロ波電源部と接続してマイクロ波電力を時間的に変調させる変調部45を有しプラズマ中のイオンエネルギー分布又は電子温度分布を制御するプラズマ制御手段とを備える構成にした。

【効果】 プラズマ処理の性能、すなわち、エッチング処理におけるエッチングレート、選択比、エッチング精度、成膜における成膜速度、膜質を向上させることができる。



## 【特許請求の範囲】

1. 被処理物を収納したプラズマ処理室内に処理用ガスを導入しマイクロ波電力を印加して放電プラズマを発生させ、かつ前記マイクロ波電力を時間的に変調させてイオンエネルギー分布又は電子温度分布を制御することにより前記被処理物をプラズマ処理することを特徴とするプラズマ処理方法。

2. 前記マイクロ波電力を、前記被処理物をプラズマ処理する処理時間に比べて十分小さな周期で変調すること

を特徴とする特許請求の範囲第1項記載のプラズマ処理方法。

3. 前記変調が、AM変調あるいはFM変調であることを特徴とする特許請求の範囲第2項記載のプラズマ処理方法。

4. 前記放電プラズマを、前記プラズマ処理室内に形成した磁場と前記印加したマイクロ波電力との相互作用により発生させることを特徴とする特許請求の範囲第1項

記載のプラズマ処理方法。

5. プラズマ処理室内に処理用ガスを導入するガス導入手段と、マイクロ波電源部と磁場発生部とを有し前記マイクロ波電源部から前記磁場発生部により磁界を形成した前記プラズマ処理装置内にマイクロ波電力を供給することにより前記プラズマ処理装置内に前記磁界と前記マイクロ波電力との相互作用によりプラズマを発生させるプラズマ発生手段と、前記マイクロ波電源部と接続して前記マイクロ波電力を時間的に変調させる変調部を有し前記プラズマ中のイオンエネルギー分布又は電子温度分布を制御するプラズマ制御手段とを備えたことを特徴とするプラズマ処理装置。

6. 前記変調部は、前記マイクロ波電力をAM変調あるいはFM変調することを特徴とする特許請求の範囲第5項記載のプラズマ処理装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、半導体装置の製造に好適なプラズマ処理方法、およびその装置に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】プラズマ処理は真空中に排気した処理室内に、処理ガスを導入し、処理室内に設けた平行平板電極に高周波電圧を印加してプラズマを発生させ、処理を行うものである。処理内容としてはプラズマにより発生した処理用ガスのイオンやラジカルにより、レジストで形成したパターン通りに膜をエッチングするドライエッチング、プラズマにより処理ガスを分解し膜を形成するプラズマCVD、プラズマにより処理ガスの重合反応を起し、膜の形成を行うプラズマ重合などである。

【0003】近年これらプラズマ処理が半導体装置の高集積化や太陽電池の低コスト化に伴い急激に生産に用いられるようになってきた。そこで生産歩留の向上を図る

ため、より高度な処理特性が求められている。例えばドライエッチングでは生産性を高めるためにエッチングレートを上げること、歩留りの向上を図るために目的とする膜と、F地材とのエッチングレート比、すなわち選択比を大きくすることや微細なパターンが高精度でエッチングできることが要求されている。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】プラズマ処理では従来、エッチングや成膜の特性コントロールをガスの種類、ガス圧力、ガス流量、高周波電力のコントロール等により行ってきた。

【0005】しかしながら従来のコントロール要因では、ドライエッチングを例にとってみると次のような問題があり、十分な特性を得ることができなかった。

【0006】第1にガス圧力を高くすると選択比はよくなるが、エッチング精度は悪くなるという問題点があった。

【0007】第2に高周波電力を高くするとエッチングレートは高くなるが選択比が悪くなるという問題点があった。

【0008】本発明の目的は従来技術の問題点に鑑み、成膜速度と膜質やエッチングレート、選択比とエッチング精度など相反するプラズマ処理特性を共に向上させるプラズマ処理方法およびその装置を供給することにある。

## 【0009】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明では、プラズマ処理方法において、被処理物を収納したプラズマ処理室内に処理用ガスを導入しマイクロ波電力を印加して放電プラズマを発生させ、かつ前記マイクロ波電力を時間的に変調させてイオンエネルギー分布又は電子温度分布を制御することにより前記被処理物をプラズマ処理するようにした。

【0010】また、目的を達成するためのプラズマ処理装置を、プラズマ処理室内に処理用ガスを導入するガス導入手段と、マイクロ波電源部と磁場発生部とを有しマイクロ波電源部から磁場発生部により磁界を形成したプラズマ処理装置内にマイクロ波電力を供給することによりプラズマ処理装置内に磁界とマイクロ波電力との相互作用によりプラズマを発生させるプラズマ発生手段と、マイクロ波電源部と接続してマイクロ波電力を時間的に変調させる変調部を有しプラズマ中のイオンエネルギー分布又は電子温度分布を制御するプラズマ制御手段とを備える構成にした。

## 【0011】

【作用】上記したプラズマ処理方法及び装置を用いてプラズマを発生させる10<sup>3</sup>Hz以上のGHz程度の高周波電力に時間的に変調をかけることにより、イオンエネルギーとその分布、電子偏度分布、ラジカル量や種類等が、被処理対象物にあわせてコントロールできる。

【0012】

【実施例】本発明による実施例を説明する前に、その原理について、以下にいくつかのプラズマ処理方法および装置を用いて説明する。

【0013】従来の平行平板電極に5〜20MHz程度(13.56MHz)の高周波電圧を印加するドライエッチング方法では、イオンエネルギー分布および、電子温度分布はガス圧力、高周波電力で決る分布となる。したがってアルミ膜などをエッチングする場合、アルミ自身のエッチングには高いエネルギーのイオンは不用であり、下地材である酸化膜やシリコン膜のエッチングにはイオンのエネルギーが必要である。したがってイオンエネルギーを小さい条件にすると選択比を向上させることができる。

【0014】しかしアルミ表面の酸化膜除去、および高精度エッチングのためには、レジスト面をイオンでたたき出してきたガスによるサイドエッチング防止用のサイドウォール形成が必要であり、高いエネルギーのイオンが不可欠である。

【0015】そこで従来方法によるイオンエネルギー分布を図1に模式的に示す。

【0016】A部のイオンエネルギーは不可欠であるため、下地材をエッチングするB部のイオンが存在し、選択比を十分大きくすることができない。

【0017】そこで図2に示す従来の高周波印加電圧に対し本発明の原理による図3に示すAM変調した高周波電圧印加によるエッチング方法について説明する。

【0018】従来の処理条件に比べガス圧を高く設定する。

【0019】 $t_1$ の部分では従来の $V_1$ より低い $V_2$ の高周波電圧を印加する。この時ガス圧が高いために、 $t_1$ の部分では入射するイオンエネルギーは低くなるが放電電流は増加する。このため、電極からプラズマに流れる電子のエネルギーは低下するが数が増加し、エッチングに寄与するラジカルの生成が増加する。

【0020】 $t_2$ の部分では高い圧力下でも $V_1$ より高い $V_3$ の高周波電圧を印加するようにする。そのため酸化膜除去やサイドウォール形成に十分なイオンエネルギーを得ることができる。この時のイオンエネルギー分布を図4に模式的に示す。

【0021】 $t_1$ 部分の放電ではDに示すような低エネルギーのイオンやラジカルの量が増加するため、エッチングレートを高めることができる。

【0022】 $t_2$ 部分の放電ではCに示す高エネルギーのイオンが生成され、そのイオン量とエネルギーは $t_1$ と $t_2$ の時間比率と印加電圧 $V_3$ によりコントロールできる。

【0023】そのためC部分は必要最少限のイオンエネルギーとイオン量にコントロールでき、下地のエッチング速度を最少限にすることができる。

【0024】以上AM変調をかけた場合について説明したが図5に示すFM変調でも同様の効果を得ることがで

きる。 $t_1$ 部分では $t_2$ 部分の13.56MHzに対し1MHzと周波数を低くすることにより放電電圧が高くなり、入射イオンエネルギーが高くなる。

【0025】本発明の原理による図3の変調方法によるエッチング特性と、従来のエッチング特性を図6に示す。

【0026】次にもう一つの本発明によるエッチングの原理を説明する例として、半導体ウェハのシリコン酸化膜をエッチングする場合について説明する。シリコン酸化膜の下にはシリコン層があり、酸化膜のエッチングが完了した後、シリコン層のエッチングが進まないようシリコン酸化膜のエッチング速度とシリコンのエッチング速度の差ができるだけ大きい方がよい。この時シリコンは酸化膜に比べ低いイオンエネルギーでエッチングされるため、酸化膜とシリコンの選択比を大きくするにはイオンエネルギーの分布が、酸化膜のエッチングに必要なレベルより高くなければならない。このイオンエネルギーを高くするためにはガス圧を低くするか、高周波電力を大きくしなければならない。

【0027】しかしガス圧力の低い条件ではイオンエネルギーは高くなるがイオン化率が低下し、エッチング速度が低くなる。また高周波電力を大きくする条件ではイオンエネルギーの増加に伴い、発生する熱量も増加し、ウェハの温度も高くなる。

【0028】半導体製品を作るウェハはウェハ面上にパターンを形成するため、エッチング前にレジストのパターンが形成されている。このレジストはウェハ温度が約120°Cを越えると軟化し、パターン形状がくずれ、高精度なエッチングできなくなり、場合によってはレジストが変質し、エッチング後完全に除去することができない、などの問題を生じる。

【0029】本発明の原理においては、図7に示すように従来より高い高周波電圧 $V_4$ を $t_1$ 秒間印加した後、 $t_2$ 秒間は印加電圧を小さくするというように周期的に変調した高周波電圧を印加する。この印加された高周波電力は $t_1$ 、 $t_2$ の部分で平均化すると従来の高周波電力と同じにしている。

【0030】さきほど述べたように $SiO_2$ のエッチングでは $Si$ などに比べ高いエネルギーのイオンが必要であり、エッチング速度、選択比を大きくするためには、イオンエネルギーが $SiO_2$ エッチングに必要なレベルより高い方に分布していなければならない。

【0031】しかるに本発明の原理による放電では $t_1$ の部分では $V_4$ を大きくし、ウェハに高いエネルギーのイオンが入射し、 $t_2$ の部分では $Si$ をエッチングするエネルギーもない低い電力で放電する。

【0032】以上より供給される高周波電力は従来と同等であるため、ウェハの表面に形成されたレジストが軟化することなく、イオンエネルギーの分布だけを高くし、エッチングレートを2.5倍に選択比を1.8倍にす

ることができた。

【0033】以上本発明によるエッチング方法の原理について述べたが、プラズマ重合やプラズマCVDでも同様の効果を得ることができる。生成した膜の特性はプラズマ内の電子温度や、入射イオンエネルギー、シース付近に生成されるイオンやラジカルに關係する。

【0034】また電子温度をはじめこれらイオンやラジカルはさきにエッチングで説明した変調を行うことにより、分布、イオンやラジカルの種類、比率をコントロールできる。したがってよりよい膜特性を得る条件が明らかにになれば、それに合せて本発明による方法で放電プラズマをコントロールし、処理特性を向上させることができることは明らかである。

【0035】なお以上に述べた本発明の原理では、高周波印加電圧の周波数として13.56MHzを使用しているが、基本的には放電を発生させ、維持させる周波数であればよい。

【0036】また、変調周波数は現在のプラズマ処理時間1分~数十分に対し十分小さな値、すなわち任意の時間でプラズマ処理を停止しても処理条件に差が生じない程度であればよい。以上より高周波印加電圧の周波数は10<sup>3</sup>Hz以上、変調周波数はそれより一桁小さい10Hz以上の周波数であればよい。

【0037】また本発明の原理の説明においては、平行平板電極によるエッチングやCVD、プラズマ重合について説明したが、本発明はこれに限定されるものでなく、外部容量形およびインダクタンス形電極によるプラズマ処理、マイクロ波や電子サイクロトロン共振によるプラズマ発生を用いたプラズマ処理にも応用できることは明らかである。これらの放電は処理室内に電極はないが印加する高周波やマイクロ波に変調をかけることによりプラズマ内の電子温度分布や発生するイオン、ラジカルの種類や量をコントロールでき、プラズマ処理特性をコントロールできる。

【0038】さらに、本発明の原理の説明においては、矩形波による変調を行っているが、変調波形はこれに限定されるものでないことは明らかである。つまりイオンエネルギー分布電子温度分布、イオン、ラジカルの量、種類の最適分布や比率が明らかの場合、変調波はそれに対応する形で決まるものである。

【0039】次に、今まで述べた本発明によるプラズマ処理方法を実現するプラズマ処理装置の原理について説明する。

【0040】図8は、先に述べたアルミ膜やシリコン酸化膜をAM変調放電でエッチングするのに用いるカソードカップリング形のプラズマ処理装置である。

【0041】処理室10には処理用ガス供給口11、排気口12が設けてある。また処理室内には接地されたアース電極13と高周波電極14があり、高周波電極は絶縁ブッシュ15を介して処理室に固定し、周囲には処理

室内壁との放電を防止するシールドケース16が設けてある。また高周波電極14にはマッチングボックス18を介して高周波パワーアンプ19が接続してある。13.56MHzの標準信号発生器21の信号は、変調信号発生器22からの信号に従い、AM変調器20でAM変調され、高周波パワーアンプ19に供給される。

【0042】変調信号発生器22は周期、振幅を変えた矩形波や正弦波など任意の波形を発生することができる。

10 【0043】変調信号発生器22でプラズマ処理対象に合せた図3や図7に示す波形に変調する変調信号を発生し、13.56MHzの標準信号発生器21の信号を変調して高周波パワーアンプ19に入力する。

【0044】高周波パワーアンプ19からは図3や図7に示すような波形が出力され、マッチングボックス18を通過して高周波電極14に印加される。AM変調の場合、周波数は同じであるため、13.56MHz用のマッチングボックスでマッチングを取ることができる。

20 【0045】以上によりプラズマ処理方法で述べた放電プラズマを発生し、プラズマ処理を行うことができる。

【0046】プラズマエッチングやプラズマCVDなどに用いるアノードカップリング形のプラズマ処理装置は本実施例のアース電極13と高周波電極14の位置を交換することで実現できる。

【0047】図9に、本発明によるFM変調方式によるアノードカップリング電極のプラズマ処理装置に原理を示す。

【0048】処理室25には処理用ガス供給口26、排気口27があり、上部には絶縁ブッシュ30、シールドケース31を設けた高周波電極28があり、下部にはアース電極29がある。

30 【0049】ウェハ32はアース電極29に載せ、高周波電極28には並列に設けられた13.56MHz用マッチングボックス33と1MHz用マッチングボックスを介して高周波パワーアンプ35に接続してある。

【0050】13.56MHzの標準信号発生器37の信号は変調信号発生器38からの信号に従い、FM変調器36で13.56MHzの部分と、1MHzの部分に変調される。

40 【0051】13.56MHzと1MHzの比率は変調信号により任意に設定できる。変調された信号は、高周波パワーアンプ35により増幅され、13.56MHzの周波数部分は13.56MHz用マッチングボックス34を通り、1MHzの部分は1MHz用マッチングボックスを通過して高周波電極28に伝達される。これにより電極間に変調された高周波の放電が発生し、プラズマ処理を行うことができる。

50 【0052】上記した本発明の原理の説明においては、変調信号の発生を変調器で行っているがこれに限定されるものではなく図10に示すような原理によってでも行

うことができる。

【0053】標準信号発生器40の信号をそれぞれ異なる分周器41に入れ、各分周器からの出力はアッテネータ42により個別に変えられるようになっている。

【0054】各アッテネータからの出力は加算器43で加算される。この装置では分周器41の数にもよるがアッテネータ42をそれぞれ設定することにより変調波形と同等の信号を得ることができる。

【0055】図11に、本発明による電子サイクロトロン共鳴方式のプラズマ処理装置の実施例を示す。

【0056】2.45CHzの標準信号発生器44の信号は変調信号発生器46の信号に従いAM変調器45で変調されパワーアンプ47で増幅されて導波管48に入る。

【0057】変調されたマイクロ波は導波管48に導かれ、石英製の処理室50に入る。この処理室50の周囲には磁場を発生させるコイル49と51が設けられており、磁場とマイクロ波による電子の共鳴でプラズマが発生する。この時の電子のエネルギーは入力マイクロ波の強度に関係するため、変調により電子温度分布が制御でき、それに伴い発生するイオンラジカルの種類、量をコントロールできる。

【0058】したがって電子サイクロトロン共鳴方式のエッチング装置やCVD装置のエッチング特性や膜質をコントロールすることができる。

【0059】なお54は処理用ガス導入管、55は排気管、52はステージ、53は基板である。

【0060】以上プラズマ処理方法、およびプラズマ処理装置の原理の説明及び実施例について述べたが、これからも明らかなように本発明はプラズマを応用するすべての処理方法、処理装置に適用できることは本実施例の説明から容易に維持できるものである。

【0061】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、プラズマ中の電子温度分布、イオン、ラジカルの種類と

量、イオンエネルギー分布をコントロールすることができ、プラズマ処理の性能、すなわち、エッチング処理におけるエッチングレート、選択比、エッチング精度、成膜における成膜速度、膜質を向上させる効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来の平行平板プラズマ処理におけるイオンエネルギー分布を示す図。

【図2】従来のプラズマ処理における印加電圧を示す図。

10 【図3】本発明によるAM変調による印加電圧の原理を説明する図。

【図4】図3に示す印加電圧の場合のイオンエネルギー分布を示す図。

【図5】本発明によるFM変調による印加電圧の原理を説明する図。

【図6】本発明の原理によるエッチング特性と従来のエッチング特性の比較図。

【図7】本発明によるシリコン酸化膜エッチング時の原理を説明する図。

20 【図8】本発明によるAM変調方式装置の原理を説明する略断面図。

【図9】本発明によるFM変調装置の原理を説明する略断面図。

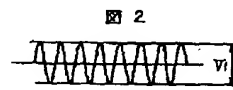
【図10】本発明による変調波発生装置の原理を説明するブロック図。

【図11】本発明による電子サイクロトロン共鳴式プラズマ処理装置を示す略断面図。

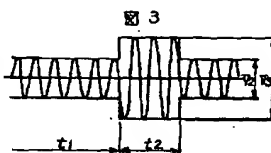
【符号の説明】

10…処理室	14…高周波電極
19…高周波パワーアンプ	20…AM変調器
36…FM変調器	44…標準信号発生器
45…AM変調器	46…変調信号発生器
47…パワーアンプ	49…コイル

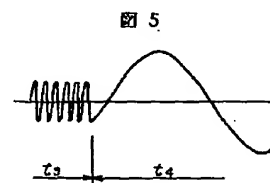
【図2】



【図3】

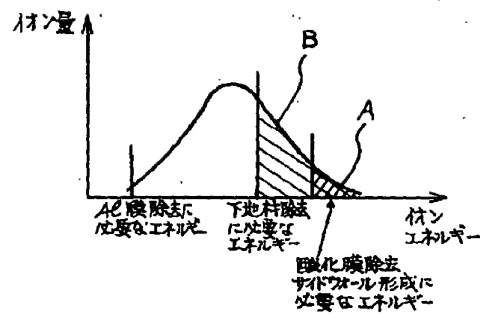


【図5】



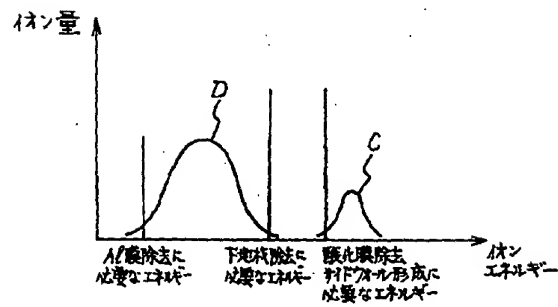
【図1】

図 1

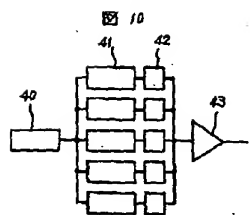


【図4】

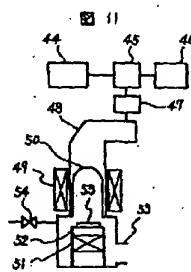
図 4



【図10】

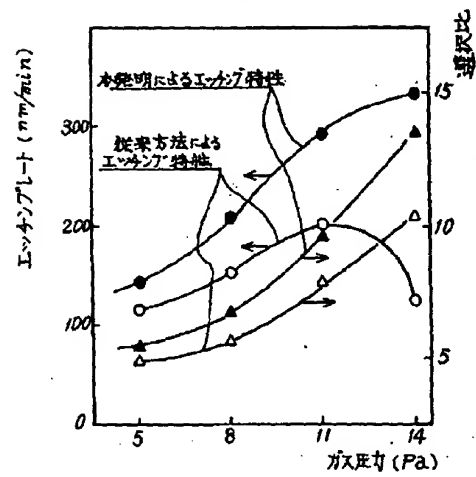


【図11】



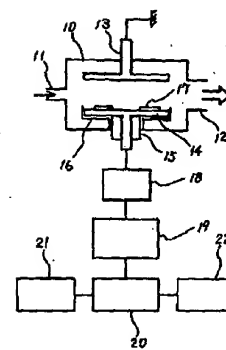
【図6】

図 6



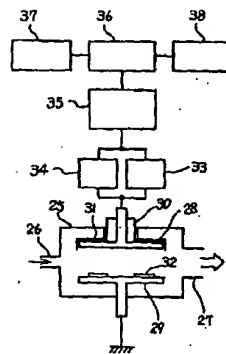
【図8】

図 8



【図9】

図 9



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 5

識別記号 庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 1 L 21/205

21/3065

(8)

特開平7-288191

(72)発明者 野口 稔

神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地株式  
会社日立製作所生産技術研究所内

(72)発明者 藤井 輝

神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地株式  
会社日立製作所生産技術研究所内